

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор ОАО
«Владимирское конструкторское

бюро радиосвязи», к.т.н.

А.Е. Богданов

« // » 01 2017 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации о научно-практической ценности диссертации Поздняковой Лидии Васильевны на тему «Развитие методов коррекции комплексной передаточной характеристики в системах с ортогональным частотным разделением каналов и мультиплексированием» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность избранной темы

Современные стандарты связи широко применяют технологию ортогонального частотного разделения каналов с мультиплексированием (OFDM). К ним относятся Wi-Fi, LTE, WiMAX. Технология OFDM эффективно борется с межсимвольной интерференцией, вызванной многолучевым распространением сигнала, а также обеспечивает высокие скорости передачи данных. Отечественные провайдеры вынуждены приобретать зарубежное оборудование, т.к. отечественная промышленность не занимается производством подобного оборудования беспроводной связи. И даже имеющиеся отечественные средства связи, основанные на технологии OFDM, используют импортные микросхемы, которые полностью осуществляют цифровую обработку данных и имеют закрытую архитектуру. Одной из проблем при разработке отечественных систем связи на основе OFDM является компенсация влияния комплексной передаточной характеристики на принятый сигнал, что необходимо для демодуляции сигнала. Анализ отечественных публикаций, посвященных методам коррекции комплексной передаточной характеристики (КПХ) систем связи OFDM в реальном времени показывает, что данной проблеме удалено недостаточно внимания.

Таким образом, в настоящее время существует актуальная научная и техническая задача разработки и создания эффективных алгоритмических средств определения и компенсации влияния комплексной передаточной характеристики на принятый сигнал, а также способов временной, тактовой и частотной синхронизации, которые необходимы для реализации отечественных беспроводных систем связи на основе OFDM.

Диссертация Л.В. Поздняковой лежит в русле работ, проводимых исследовательскими и проектными организациями, создающими современную радиоэлектронную аппаратуру, а именно OFDM модемы для организации беспроводной связи.

Разработанные автором программные средства позволяют точнее и с меньшими затратами производить коррекцию КПХ в реальном времени, а также осуществлять временную, тактовую и частотную синхронизацию, что даёт возможность использования предложенных алгоритмов при реализации цифровых OFDM модемов.

По материалам диссертации автором сделано 2 доклада на научной конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации» (Владимир-Сузdalь, 2015). Подана заявка на патент на изобретение: «Способ временной синхронизации системы связи на основе ортогонального частотного разделения каналов с мультиплексированием по преамбуле» и получено положительное решение о выдаче патента РФ от 25.10.2016 г. Получено 3 авторских свидетельства на регистрацию программ для ЭВМ. По тематике исследований опубликовано 14 работ, из которых 6 в журналах из перечня рекомендованных ВАК.

Научная новизна работы состоит в развитии метода компенсации влияния комплексной передаточной характеристики системы связи, использующей технологию OFDM, на принятый сигнал, а также в создании методики временной, тактовой и частотной синхронизации, необходимой для функционирования разработанного метода коррекции КПХ в OFDM модеме:

1. Предложен и исследован быстродействующий алгоритм компенсации влияния комплексной передаточной характеристики на принятый сигнал на основе преамбулы и пилот-поднесущих символа данных. Даны рекомендации по использованию разбиения преамбулы на несколько символов. Обоснован выбор уровня пилот-поднесущих по отношению к уровню данных.

2. Разработан способ временной синхронизации, а также на его основе алгоритмы тактовой и частотной синхронизации при использовании преамбулы, содержащей один, два или более двух символов, каждый из которых во временной области не имеет повторяющихся участков, то есть в частотной области содержит дискретно-непрерывный набор спектральных компонент.
3. Показано, что неравномерность группового времени запаздывания в пределах длины циклического префикса не влияет на работоспособность предложенных алгоритмов компенсации влияния КПХ системы связи, а также временной, частотной и тактовой синхронизаций.

Практическая значимость полученных автором результатов заключается в следующем:

1. Экспериментально показано, что применение разработанного метода коррекции КПХ позволило повысить помехоустойчивость, снижено требование к отношению сигнал/шум на 1,3 dB по отношению к методу, использующему полярную систему координат при коррекции КПХ.
2. Рассмотрены варианты формирования преамбулы и даны рекомендации по использованию различного количества OFDM символов в преамбуле в зависимости от условий в радиоканале.
3. Снижены требования к аппаратной части OFDM модема: применение предложенного алгоритма коррекции КПХ на основе преамбулы и pilot-поднесущих позволило сократить количество занимаемых логических элементов на ПЛИС с 42400 до 38120.
4. Созданы программы моделирования компенсации влияния КПХ на принятый сигнал, которые позволили отладить разработанные алгоритмы. Программы предоставляют пользователю возможности по изменению различных параметров: задавать отношение сигнал/шум, частоту дискретизации, задавать полосу пропускания, величину циклического префикса, количество символов преамбулы, вид модуляции и д.р., а также рассчитывают границы доверительного интервала, среднюю амплитуду и среднее квадратическое отклонение спектральных составляющих после коррекции от идеального значения для 1000 экспериментов, число которых при необходимости может быть увеличено или уменьшено.
5. Показано, что при разбиении преамбулы на 2 символа для работы модуляции QAM16 2/3 требуется отношение С/Ш=20,2 dB, для QAM64 2/3 - 27,4 dB.

6. Предложен способ временной синхронизации для преамбулы, имеющей дискретно-непрерывный набор спектральных компонент, т.е. преамбулы, не имеющей повторяющихся участков во временной области, который даже при отношении сигнал/шум равном -6 дБ позволяет точно определять положение преамбулы без пропусков и ложных обнаружений для выборки из 100 000 реализаций.
7. Предложена методика тактовой и частотной синхронизации, реализованная на основе алгоритма временной синхронизации.

Результаты и выводы диссертации, созданные методики и алгоритмы, рабочие программные средства и моделирующие программы целесообразно использовать в учреждениях, в организациях и на предприятиях, занимающихся разработкой, проектированием и созданием радиоаппаратуры, работающей с широкополосными сигналами и нестабильными радиоканалами. Созданные алгоритмы, методики и программное обеспечение рекомендуется использовать на предприятиях, производящих современные цифровые средства связи.

Средства моделирования могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Радиотехника». Научно-исследовательские работы рекомендуется продолжить на кафедре радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых для достижения более значимых результатов.

Апробация работы

В работе использованы методы математической статистики, спектрального анализа и математического моделирования, а также моделирования устройств на языке описания аппаратуры Verilog. Приведены материалы, обобщающие результаты теоретических исследований и опыт практической реализации методик цифровой обработки сигналов на уровне их алгоритмической реализации на языках высокого уровня и языках описания аппаратуры. Основные теоретические и практические результаты диссертации были получены автором в ходе выполнения научно-исследовательских работ, проводимых на кафедре радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых в период с 2012 по 2016 г.г.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений диссертационного исследования Поздняковой Л.В. подтверждают материалы экспериментальных исследований, результаты моделирования и внедрения.

Испытания модифицированной преамбулы на системе связи точка-многоточка *OFDM* со следующими параметрами сигнала:

- центральная частота 3495МГц,
- ширина полосы 7 МГц,
- длительность фрейма 70 символов,
- модуляции $QPSK \frac{1}{2}$, $QPSK \frac{3}{4}$, $QAM16 \frac{1}{2}$, $QAM16 \frac{3}{4}$, $QAM64 \frac{2}{3}$, $QAM16 \frac{7}{8}$,

показали уменьшение количества битовых ошибок на граничных условиях работы для всех модуляций.

По тематике исследований автором опубликовано 14 работ, из которых 6 в журналах из перечня рекомендованных ВАК.

Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка используемой литературы и приложений. Общий объём диссертации 170 стр.

Введение содержит обоснование актуальности выбранной темы диссертации; сформулированы цели и задачи исследований, определено научное и практическое значение.

В первой главе проведен обзор методов коррекции комплексной передаточной характеристики системы связи с использованием технологии ортогонального частотного разделения каналов с мультиплексированием на основе преамбулы и пилотных поднесущих, а также рассмотрены методы синхронизации в *OFDM* системах, представлены достоинства и недостатки рассмотренных методов, сформулированы задачи исследований, а также основные пути и средства для их решения.

Во второй главе исследованы методы расчета и коррекции комплексной передаточной характеристики системы связи на основе *OFDM*, показано, что стандартный алгоритм коррекции КПХ требует перевода данных в полярную систему координат. Предложен модифицированный алгоритм коррекции КПХ, позволяющий осуществлять расчеты без использования полярной системы координат за счет преамбулы, содержащей все частотные компоненты. Представлен целочисленный алгоритм коррекции КПХ, который не использует в расчетах полярную систему координат и подходит для реализации в аппаратуре связи. Использование разработанного алгоритма сократило вычислительные ресурсы и уменьшило погрешности расчетов.

Показан алгоритм генерации преамбулы для определения спектрального состава такой преамбулы, которая имеет минимальный пик-фактор, алгоритм

реализован на основе создания преамбулы с помощью генератора случайных чисел.

Предложен способ временной синхронизации, который использует преамбулу, имеющую дискретно-непрерывный набор спектральных компонент, а также в качестве решающей функции применяет квадрат модуля комплексной функции взаимной корреляции между принятым сигналом и эталонной преамбулой без циклического префикса. Показано, что предложенный способ синхронизации имеет большую помехоустойчивость по сравнению с аналогами за счет резкого сужения области максимума решающей функции. Рассмотрено применение временной синхронизации для реализации тактовой и частотной синхронизации.

В третьей главе проведено сравнение способов компенсации влияния КПХ на принятый сигнал системы связи *OFDM* с использованием в расчетах полярной системы координат и без ее применения. Приведены результаты моделирования с использованием разработанных для ЭВМ программ. Представлена разработанная программа моделирования, а также ее возможности.

Приводятся результаты сравнения алгоритмов коррекции с учетом помехоустойчивого кодирования для цифровых модуляций QAM16, QAM64. Представлено моделирование предложенного способа временной синхронизации. Показано, что помехоустойчивость временной синхронизации значительно увеличилась.

В работе представлено описание результатов апробации и внедрения разработанных методик и алгоритмов. Приводится описание алгоритмов цифровой обработки и средств моделирования.

В диссертации решена, безусловно, актуальная задача разработки методик, алгоритмов и программных средств для коррекции комплексной передаточной характеристики системы связи на основе OFDM сигналов, а также для проведения временной, тактовой и частотной синхронизации устройств на основе методов цифровой обработки массива данных мгновенных значений, функционирующих в режиме реального времени и имеющих точностные характеристики, достаточные для практических приложений.

Автореферат в полной мере соответствует содержанию, выводам и рекомендациям, сделанным автором в диссертации.

Замечания по тексту диссертации

1. Не представлена оценка быстродействия работы предложенного алгоритма коррекции КПХ, а также сравнение по быстродействию с алгоритмом, использующим полярную систему координат при определении обратной КПХ и осуществлении коррекции.
2. В предложенном способе временной синхронизации отсутствуют рекомендации по выбору количества символов преамбулы, которые необходимы для осуществления временной синхронизации.

Несмотря на указанные недостатки можно утверждать, что результаты диссертации обладают новизной, достоверностью, хорошо обоснованы и апробированы. Автором продемонстрировано владение современными методами теоретического анализа и эксперимента, а автореферат достаточно полно отражает сущность диссертации.

Заключение

Таким образом, диссертация Поздняковой Лидии Васильевны является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 20.06.2011 г. № 475), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Рецензент

начальник лаборатории
ОАО «ВКБР», к.т.н.

И.С. Прохоров

Подпись Прохорова И.С. заверяю
начальник отдела кадров ОАО «ВКБР»



О.А. Хазова